

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДВИГАТЕЛЕЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

© 2006 С.П. Мурзин

Самарский государственный аэрокосмический университет

Использование лазерных технологий, целесообразность применения которых и преимущества определяются возможностью бесконтактного, строго дозированного интенсивного подвода энергии на поверхность изделия, является прогрессивным направлением в двигателестроении и производстве энергоустановок. В работе сформулированы некоторые методологические принципы проектирования лазерных технологических процессов, обеспечивающих повышение эксплуатационных характеристик деталей. Разработан технологический процесс сварки импульсным излучением с заданным пространственным распределением мощности деталей газотурбинного двигателя и энергетической установки.

Отличительными особенностями эксплуатации двигателей летательных аппаратов являются высокая силовая и температурная нагруженность элементов конструкций и значительные градиенты температур в различных зонах изделий, что обуславливает повышенные требования к эксплуатационным свойствам и служебным характеристикам деталей [1, 2 и др.]. Основными материалами, используемыми в настоящее время для изготовления двигателей, являются: высокопрочные стали, титановые сплавы и сплавы на никелевой основе, имеющие высокие значения удельной прочности в заданном диапазоне рабочих температур. Технология изготовления деталей во многом определяет комплекс их эксплуатационных характеристик, обуславливающий долговечность, вероятность безотказной работы и технический ресурс узлов, агрегатов и изделия в целом.

Прогрессивным направлением является использование лазерных технологий, целесообразность применения которых и преимущества определяются возможностью бесконтактного, строго дозированного интенсивного подвода энергии на поверхность изделия. Обеспечивается локальность по глубине и площади протекающих в зоне термического влияния физических процессов при сохранении исходных свойств материала в остальном объеме и отсутствии значительных деформаций обрабатываемых деталей. Регулирование величины вводимой в технологический объект энергии при лазерном воздействии позволяет одному и тому же материалу придать принципиально

различные свойства [3, 4].

Полученные результаты по разработке лазерных технологий [5-7] позволяют сделать обобщения и сформулировать некоторые методологические принципы проектирования лазерных технологических процессов, обеспечивающих повышение эксплуатационных характеристик деталей. Систематизация этих принципов должна позволить существенно упростить пути достижения конечной цели – повышения надежности двигателей летательных аппаратов за счет разработки лазерных технологий обработки деталей с регулируемым пространственным распределением мощности излучения.

Необходимость повышения эксплуатационных характеристик конкретных узлов и деталей изделий может быть выявлена только по результатам специальных испытаний или их эксплуатации. Эти результаты являются исходными для технико-экономического обоснования мероприятий по повышению надежности двигателей летательных аппаратов. Принятое решение должно быть сформулировано в техническом задании.

Практика показывает, что в основном разработка технического задания на изделие, а также назначение требуемых выходных параметров технологических процессов лазерной обработки – геометрических параметров зоны обработки и свойств обработанного материала, в том числе с возможностью внесения конструктивных изменений в деталь, осуществляются технологом. Выбор материала детали определяет только потенциальные возмож-

ности их структур, степень же достижения этих возможностей (например, требуемой твердости, прочности, пластичности и т.д.) определяется температурным циклом в зоне термического влияния.

На рис. 1 представлена схема итерационного процесса проектирования технологических процессов лазерной обработки: термоупрочнения, отжига и сварки деталей двигателей летательных аппаратов. Все

факторы, влияющие на эксплуатационные свойства можно подразделить на три группы: управляемые, нерегулируемые и возмущающие [8 и др.].

Нерегулируемые факторы могут быть измерены, но воздействовать на них при проведении технологического процесса невозможно. Возмущающие факторы изменяются случайным образом в процессе

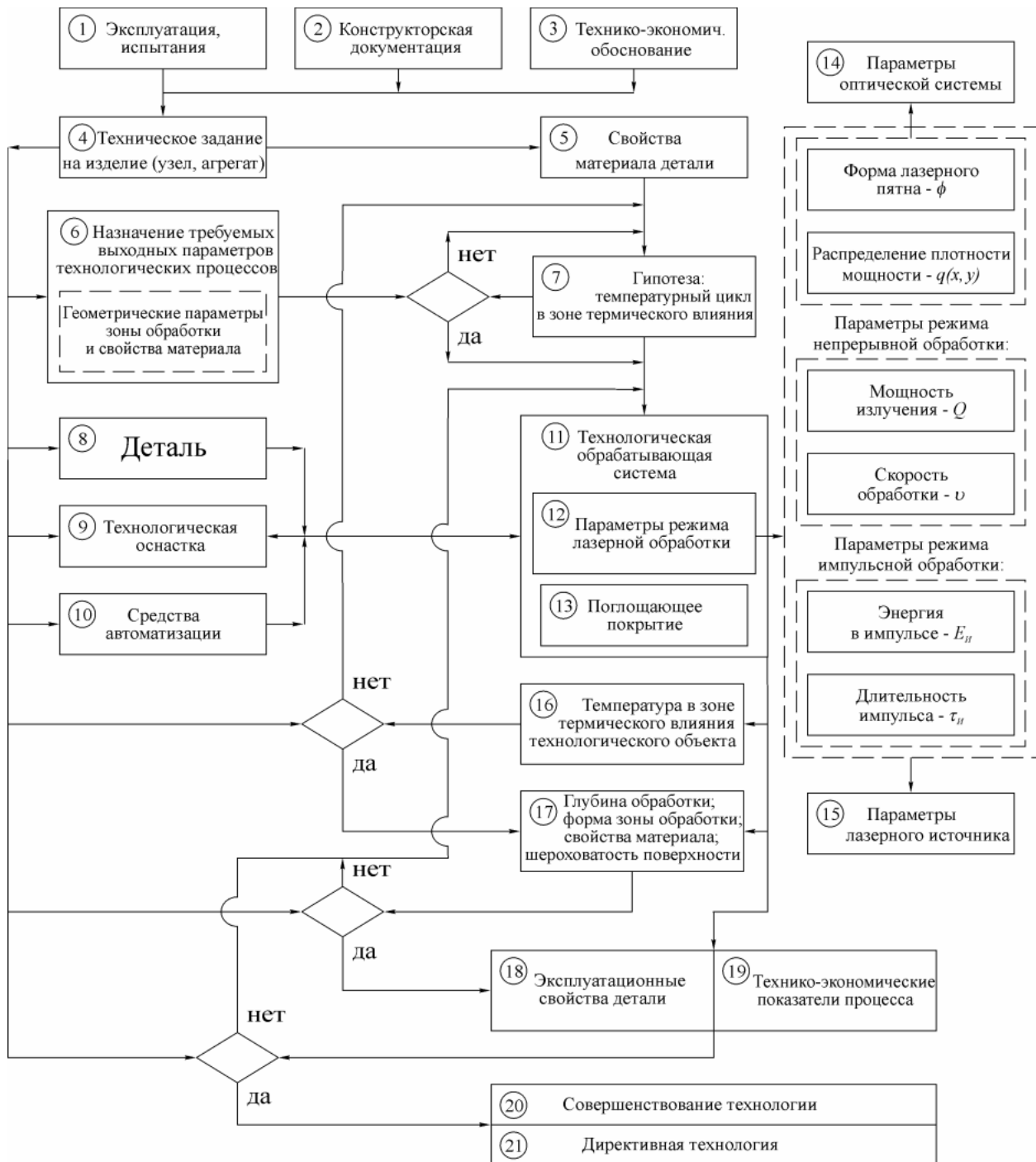


Рис. 1. Схема итерационного процесса проектирования технологических процессов лазерной обработки: термоупрочнения, отжига и сварки деталей двигателей летательных аппаратов и энергоустановок

обработки и приводят к изменению как входных, так и выходных параметров. К управляемым факторам относятся параметры режима обработки (рис. 1, поз.12). Основными параметрами импульсной лазерной обработки являются $E_{и}$ – энергия в импульсе и τ – длительность импульса. Если обработка проводится непрерывным излучением, то основными параметрами являются Q – мощность излучения и v – скорость относительного перемещения детали и лазерного пучка. Форма лазерного пятна и распределение плотности мощности $q(x, y)$ энергетического источника также являются основными параметрами режима обработки как импульсным, так и непрерывным излучением, влияющими на температурный цикл зоны термического влияния технологического объекта. Для определения параметров режима обработки необходимо решать обратную задачу теплопроводности, которая позволяет сформулировать требования к распределению мощности воздействующих энергетических потоков.

После установления диапазона управляющих параметров технологического метода или параметров режима обработки (рис. 1, поз.12) определяются параметры оптической системы (поз.13) и лазерного источника (поз.14). Затем определяется температурное поле в области термического влияния технологического объекта (поз.15). Только после решения перечисленных задач можно переходить к формированию требуемых структур материалов и геометрических параметров зоны обработки, обеспечивающих выполнение задачи, сформулированной в техническом задании или заданной чертежом (поз.16), а далее – к выявлению уровня получаемых физико-механических и эксплуатационных показателей и совершенствованию технологии (поз.17-20).

Анализ чертежа детали осуществляется с целью выбора способа обработки с учетом параметров, обеспечивающих выполнение деталью конкретной задачи, например, требуемой твердости, прочности или пластичности материала, ширины и глубины зоны термического влияния. Определяются геометрические размеры подвергаемых энергетическому воздействию участков, их доступность для обработки и т.д.

При выборе способа обработки необходимо учитывать назначение детали, условия ее работы и требуемый комплекс эксплуатационных характеристик. Целесообразность применения лазерной технологии для обработки каждого конкретного изделия должна быть подтверждена тщательным анализом эффективности по сравнению с традиционными методами. Например, лазерное термоупрочнение наиболее оправданно в тех случаях, когда имеется возможность существенного повышения эксплуатационных характеристик, деталь имеет сложную форму или переменное сечение, нагрев другими источниками энергии затруднен, невозможен, либо сопровождается возникновением недопустимых по величине деформаций.

Выбор основного технологического оборудования и средств автоматизации при лазерной обработке, осуществляется с учетом размеров заготовки, точности изготовления, требуемой мощности и производительности. Соответствие оборудования установленному режиму обработки подтверждается оценочными расчетами. Существующие типы лазеров позволяют получать зоны упрочнения в случае обработки без оплавления поверхности глубиной до $h_{\delta} = (0,04 \dots 0,1) \cdot 10^{-3}$ м для импульсных лазеров и $h_{\delta} = (0,5 \dots 1,5) \cdot 10^{-3}$ м – для лазеров непрерывного действия.

При выборе оборудования значительное внимание должно уделяться системам управления технологическим процессом и имеющейся возможности их модернизации.

Следующим этапом является корректировка режимов лазерной обработки для выбранного оборудования. Расчет режимов лазерной обработки проводится с учетом свойств применяемых поглощающих покрытий, обеспечивающих увеличение эффективности процесса. Нанесение поглощающих покрытий вызвано необходимостью уменьшения величины отражения лазерного излучения от металлической поверхности детали. Рекомендуются водорастворимые полимерные покрытия: для железуглеродистых сплавов – МЦС-510 на основе метилцеллюлозы и силиката натрия; для алюминиевых сплавов – ФС-1М на основе алюмофосфата.

При проектировании технологических процессов изготовления деталей двигателей

летательных аппаратов для определения режимов лазерной обработки и параметров энергетического источника по заданным форме и свойствам зоны термического влияния необходимо решать обратную задачу теплопроводности.

Наряду с основными режимами обработки выбирают технологические приемы, т.е. совокупность действий, которые в данной конкретной ситуации приводят к достижению требуемого результата. Их применение часто связано с использованием дополнительной оснастки, приборов или приспособлений. Например, при контроле параметров излучения необходимо применять измерительные приборы, обеспечивающие измерение сигнала, соответствующего всему диапазону значений мощности по сечению потока лазерного излучения, с погрешностью в пределах $\pm(2...5)\%$. Средство юстировки должно обеспечивать попадание лазерного излучения в центральную часть приемных площадок ослабителя, оптической системы и измерительного преобразователя перпендикулярно их входной поверхности.

Для выявления дефектов поглощающих покрытий или обработанной поверхности детали целесообразно использовать установку, содержащую гелий-неоновый или полупроводниковый лазер с устройством для перемещения луча; стеклянную пластину для формирования опорного сигнала (не более 6% от мощности источника излучения); два оптических ваттметра поглощаемой мощности для регистрации сигналов опорного и измерительного каналов, фокусатор излучения; плоские зеркала и собирающие линзы для формирования излучения и его транспортировки к исследуемой поверхности, а от нее к фотоприемнику [9, 10].

При контроле температурных полей на поверхности объектов используется элементная база из ИК-радиометра - блока оптической визуализации температурного поля в рабочей зоне тепловизора с аналогово-цифровыми преобразователями, блока ввода-вывода видеоизображения и персонального компьютера с соответствующими программными средствами обработки изображений. Соответствие излучательной способности поверхности исследуемого объекта значениям уровня и диапазона

исследуемых температур устанавливаются в режиме калибровки сигнала. Распределение температуры по поверхности объекта фиксируется в виде изображения с различной яркостью участков или в условных цветах палитры RGB. Обработка информации о тепловых процессах осуществляется с использованием разработанного программного обеспечения, функционирующего в среде Windows 95/98/ME/2000. Анализ термоизображения проводится как в автоматическом режиме работы, так и в командном интерактивном.

Проектирование приспособлений проводят с учетом следующих основных требований: обеспечение заданной точности обработки заготовки на данной операции; получение высокой производительности при обработке заготовки с применением приспособления; обеспечение удобства установки и снятия заготовки, обслуживания приспособления и т.д. Необходима отработка технологии на конкретной детали с оценкой требуемых характеристик. При оформлении технологической документации указывают последовательность обработки поверхности, точность выполняемых размеров, применяемое оборудование и приспособления.

Согласно представленной схеме и приведенной последовательности проектирования разработан технологический процесс сварки импульсным лазерным излучением с заданным пространственным распределением мощности деталей газотурбинного двигателя НК-25 и энергетической установки НК-38. Исследована структура металла шва в поперечном сечении зоны лазерной сварки хромоникелевого сплава ХН60ВТ. По границам и внутри зерен сложного легированного твердого раствора в исходной структуре имеются включения карбидов. При лазерном плавлении происходит растворение карбидов, литая зона имеет однородную структуру без пустот и раковин. Металлографический анализ выявил удовлетворительное качество формирования сварного соединения, хорошую однородность литой зоны, что указывает на высокую работоспособность сварного соединения. При сварке встык деталей из жаростойких и жаропрочных сплавов на никелевой основе ХН60ВТ и ХН70ЮШ применение разработанной технологии позволяет увеличить максимальную

разрушающую нагрузку при испытаниях на статическую прочность сварной точки до значения $P = (8,2...8,6) \cdot 10^2$ Н за счет увеличения площади продольного сечения сварной точки в 3...5 раз. Прочность сварного соединения повышается на 10...20 %.

Список литературы

1. Технология производства авиационных газотурбинных двигателей: Учеб. пособие для вузов / Ю.С. Елисеев, А.Г. Бойцов, В.В. Крымов, Л.А. Хворостулин. М.: Машиностроение, 2003. – 512 с.

2. Демин Ф.И., Проничев Н.Д., Шитарев И.Л. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей: Учеб. пособие. М.: Машиностроение, 2002. – 328 с.

3. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н. Оборудование и технология лазерной обработки материалов. М.: Высш. шк., 1990. – 159 с.

4. Гуреев Д.М., Ямщиков С.В. Основы физики лазеров и лазерной обработки материалов: Учеб. пособие. Самара: Изд-во “Самарский университет”, 2001. – 392 с.

5. Мурзин С.П. Применение фокусаторов излучения для повышения эффективности лазерной термической и комбинированной обработки материалов // Компьютерная

оптика. МЦНТИ, 2002. Вып. 24. – С.114-120.

6. Мурзин С.П., Клочков С.Ю. Расчет пространственного распределения мощности лазерного излучения для формирования требуемого энергетического воздействия // Известия Самарского научного центра РАН. 2005, Т.7. №2. – С. 483-488.

7. S.P. Murzin. Increasing the efficiency of laser treatment of materials using elements of computer optics. Journal of Advanced Materials 2003 10(2) 181-185.

8. Барвинок В.А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий. М.: Машиностроение, 1990. – 384с.

9. Мордасов В.И., Мурзин С.П., Трегуб В.И. Применение комбинированного плазменного и лазерного воздействия с управлением распределением мощности для улучшения свойств обработанных изделий // Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Тез. докл. междунар. конф. Самара: СГАУ, 2003. – С. 10-12.

10. Мурзин С.П. Компьютерная система управлением технологическими процессами лазерной и комбинированной обработки материалов // Известия Самарского научного центра РАН. 2002, Т.4. №1. –С. 127-132.

DESIGNING OF PROGRESSIVE TECHNOLOGICAL PROCESSES OF LASER PROCESSING OF DETAILS BY MANUFACTURE OF ENGINES AND POWER INSTALLATIONS

© 2006 S.P. Murzin

Samara State Aerospace University

Use of laser technologies, which expediency of application and advantage are defined by an opportunity of a contactless, strictly dosed out intensive supply of energy on a surface of a product, is a progressive direction in двигателестроении and manufacture энергоустановок. In work some methodological principles of designing of the laser technological processes providing increase of operational characteristics of details are formulated. Technological process of welding by pulse radiation with the set spatial distribution of capacity of details the engine and power installation is developed.